



# Lecciones aprendidas en el diseño de Soluciones basadas en la Naturaleza para el tratamiento de agua residual en la Región del Gran Caribe



Financiado por



Co-implementado por



Co-ejecutado por



## Acrónimos y abreviaciones

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BMZ	<i>Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung</i> Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (Alemania)
BWS	<i>Belize Water Services;</i> Servicios de Agua de Belice
CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento (Colombia)
CReW	<i>Caribbean Regional Fund for Wastewater Management;</i> El Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales
DEWATS	<i>Decentralized Wastewater Treatment Systems</i> Sistemas de Tratamiento de Agua Residual Descentralizados
DOE	<i>Department of Environment (Belize)</i> Departamento de Ambiente (Belice)
FAFA	Filtro Anaerobio
FSTP	<i>Faecal Sludge Treatment Plant;</i> Planta de Tratamiento de Lodos Fecales
GEF	<i>Global Environment Facility;</i> Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit</i> Cooperación Alemana para el Desarrollo (Alemania)
INAPA	Instituto Nacional de Agua Potable y Alcantarillado (República Dominicana)
MIMARENA	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de República Dominicana
MinAmbiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia)
MinVivienda	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Colombia)
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PTAR	Planta(s) de Tratamiento de Agua Residual
OEA	Organización de los Estados Americanos
ODS	Objetivo(s) de Desarrollo Sostenible

OMS	Organización Mundial de la Salud
SbN	Soluciones basadas en la Naturaleza
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Reactor;</i> Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente
UASD	Universidad Autónoma de Santo Domingo (República Dominicana)
UV	Ultravioleta

## Contexto

El alto crecimiento demográfico y las repercusiones del cambio climático aumentan la desigualdad al acceso seguro de los servicios de agua y saneamiento en la Región del Gran Caribe. Además, más del 60 % de las aguas residuales que ingresan al Mar Caribe no son tratadas, lo cual es un riesgo para la salud humana y de los ecosistemas (De la Peña et al., 2022). Por lo general, la región no cuenta con acceso a un saneamiento adecuado. En los casos en donde haya saneamiento, este es de baja calidad y desigual, ya que el financiamiento en el sector es insuficiente (Pan America Health Organization, 2020). Por lo tanto, buscando aportar a la solución del saneamiento en la región, a través del proyecto GEF CReW+ se diseñaron Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para contribuir a la mitigación del efecto de la descarga del agua residual no tratada a los ecosistemas, afectando la salud pública. En este contexto, el diseño de SbN son prácticas que integran características o procesos naturales en tecnologías diseñadas, para promover la gestión sostenible y restauración de los ecosistemas (Cross et al., 2021; United Nations Environment Programme, 2022).

El GEF CReW+ es un proyecto de colaboración financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM / GEF por sus siglas en inglés) que está siendo implementado conjuntamente por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 18 países de la Región del Gran Caribe. Este proyecto innovador tiene como base la exitosa fase anterior llamada "El Fondo Regional del Caribe para la Gestión de Aguas Residuales (CReW)" (2011-2017).

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial ha proveído de \$22 millones en ayuda económica y recursos financieros y ha movilizado cerca de \$120 billones en cofinanciamiento en más de 5,200 proyectos y programas. El GEF es el fondo fiduciario más grande enfocado en permitir a países en desarrollo invertir en la naturaleza y apoya la implementación de convenios internacionales en biodiversidad, cambio climático, químicos y desertificación. Reúne 184 gobiernos, adicionalmente sociedad civil, organizaciones internacionales, sector privado y aliados.

En Belice, Colombia, República Dominicana y Surinam, el GEF CReW+ está siendo ejecutado a nombre del BID por la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ). Este proyecto se adoptó por la GIZ a través de su programa global *Sanitation for Millions*, el cual fue lanzado en el 2016 por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) como donante líder y la GIZ. *Sanitation for Millions* es una iniciativa multidonante para atender los problemas de agua y saneamiento y contribuir efectivamente en alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenibles 6, 4 y 3, y se ejecuta en 14 países en tres continentes.

Entre los componentes del GEF CReW+ se incluye la creación de soluciones tecnológicas, innovadoras, a pequeña escala (local, rural, periurbana y comunitaria) para la Gestión Integrada de Agua y Aguas Residuales. En este documento se comparten lecciones aprendidas en el diseño de SbN para mitigar el riesgo sanitario y de los ecosistemas provocado por el vertido de agua residual y lodos sin tratamiento adecuado en zonas caribeñas de Belice, Colombia, República Dominicana y Surinam. De este modo, se pretende contribuir a la implementación de SbN en el tratamiento del agua residual y así mejorar el acceso a un saneamiento seguro y adecuado en la región.

## Estudio de Caso: Diseño de SbN en el tratamiento de agua residual

### Saneamiento centralizado en Cayo Corker (Caye Caulker en inglés), isla turística de Belice

#### El Reto

Cayo Corker (Caye Caulker en inglés) es una isla ubicada al norte de Ciudad de Belice y es su segundo cayo de mayor tamaño. Actualmente es una zona cuya economía está basada principalmente en el turismo y con un alto crecimiento, su población se ha duplicado en los últimos 10 años.

La isla está dividida en dos regiones, la Región Norte y la Región Sur y se evidencia una asimetría de desarrollo entre ambas. La actividad turística se concentra en la división de las dos regiones.

La isla tiene un manto freático elevado, gran parte de ella está a una profundidad de 0.15 – 1.80 m por debajo del nivel del suelo, y el terreno es esencialmente plano. Además, no cuenta con un sistema centralizado de agua residual y prevalecen los tanques sépticos a nivel de hogares. Así también, debido al alto desarrollo de la Región Sur, el espacio para la instalación de un sistema centralizado de agua residual es limitado.



*Figura 1: Tanque séptico sobre el nivel del suelo en Cayo Corker, Región Sur. Fotografía ©GIZ/AKUT*

#### La Estrategia

GIZ en acuerdo con el Departamento de Ambiente (DOE, por sus siglas en inglés *Department of Environment*) de Belice formularon actividades para la ejecución de un estudio de viabilidad de una solución centralizada de saneamiento en Cayo Corker. El estudio de viabilidad incluyó un diagnóstico con enfoque al saneamiento en el área de intervención, estimación de la demanda del servicio de saneamiento, caracterización del agua residual, evaluación de alternativas para su colección y el tratamiento y determinación de medidas de mitigación de riesgos para la implementación de la solución de saneamiento centralizada recomendada.

El estudio de viabilidad se adjudicó a una firma consultora internacional del sector privado y se desarrolló con la participación de partes interesadas tales como DOE, la autoridad local de agua, Servicios Hídricos de Belice (BWS, por sus siglas en inglés *Belice Water Services*), y GIZ. A través de sesiones de seguimiento con partes interesadas, se discutieron los hallazgos y se brindó retroalimentación para satisfacer las necesidades de actores clave para el desarrollo del proyecto. El equipo consultor contó con el apoyo de consultores nacionales que manejaron una cooperación estrecha con las contrapartes belicenses.

Para la elección del tipo de alcantarillado se consideraron aspectos geotécnicos y topográficos (nivel freático, terreno plano, suelo inestable), financieros (costo de inversión y de operación y mantenimiento) y la complejidad del sistema (disponibilidad de repuestos y proveedores y nivel de entrenamiento del personal requerido), que influyen directamente la sostenibilidad operativa. Se determinó que los alcantarillados condominial, al vacío y libre de sólidos son alternativas viables con respecto a las condiciones topográficas y geotécnicas que prevalecen Cayo Corker. Estos presentan menor consumo energético, costo de capital y de operación y mantenimiento en comparación a un alcantarillado convencional, en el cual se prevé el uso de gran número de estaciones de bombeo y exposición de tasas de infiltración muy altas. En particular, se recomendó el alcantarillado al vacío, cuyo costo de capital estimado es del 58 % del correspondiente al emplear alcantarillado condominial, y no presenta los riesgos asociados a la interacción con el usuario, encontradas al utilizar el alcantarillado libre de sólidos.

Por otra parte, en la evaluación de las tecnologías de tratamiento de agua residual se prefirieron aquellas con baja huella constructiva, amplia flexibilidad operativa a choques hidráulicos y orgánicos, menor riesgo de vectores y olores, bajo costo (de inversión y de operación y de mantenimiento) y alta sencillez del sistema. Como resultado, un **humedal Sistema Francés** fue seleccionado como la **opción más apropiada** para el tratamiento del agua residual de Cayo Corker, en comparación a lodos activados (en modo secuencial por lotes) y al filtro percolador. Además, requiere un área de 2.2 acres por lo que puede instalarse en el terreno disponible para la construcción de la obra.

El humedal Sistema Francés cuenta con menor dependencia de equipo electromecánico, alto desempeño (remoción de 80-90 % de DQO y SST) puede integrarse al paisaje y presentar costos de operación y mantenimiento muy bajos. Así también, tienen alta flexibilidad operativa, lo cual es necesario para proveer un tratamiento adecuado en zonas turísticas, con alta variabilidad estacional. Por lo que el humedal Sistema Francés tiene alta aplicabilidad para el tratamiento de agua residual en Cayo Corker.

## Optimización de un sistema lagunar y un sistema de reúso en San Antero de Córdoba, Colombia

### El Reto

San Antero de Córdoba, Colombia, es una zona costera, cálida y de tierras fértiles para la agricultura. Además, sus playas y manglares lo han potenciado como epicentro turístico del departamento de Córdoba. La PTAR de San Antero del Departamento de Córdoba está en avanzado deterioro, lleva más de 20 años de operación y ha recibido un mantenimiento inadecuado. Esta PTAR consiste en un sistema lagunar compuesto por dos lagunas facultativas y una laguna de maduración en las cuales se ha evidenciado una considerable infiltración de agua residual en el terreno, lo cual aumenta el riesgo de contaminación del agua subterránea y el suelo. También existe un crecimiento considerable de maleza, lo cual acelera el daño de los taludes y facilita la infiltración. Adicionalmente, las lagunas se encuentran colmatadas de lodos, como resultado de su falta de mantenimiento. La inadecuada gestión del tratamiento del agua residual ha provocado malos olores y con ello el malestar de los vecinos.

Por otra parte, el vertido del efluente de la PTAR se realiza al Caño Cardales, el cual es un arroyo intermitente artificial que desemboca al mar Caribe. La gestión del vertido del efluente ha incumplido las regulaciones existentes, por lo que se han asumido múltiples

sanciones. De este modo, el estado actual del sistema de tratamiento genera costes adicionales, malestar de vecinos en ciertas temporadas, sin reducir efectivamente el riesgo ambiental por el vertido de aguas residuales y además genera un impacto significativo en los cuerpos de agua aledaños, como el sistema de manglar.

## La Estrategia

Para contribuir a la mejora del tratamiento de agua residual en San Antero de Córdoba se realizó el diseño para la optimización de la respectiva PTAR y un piloto de reúso de su efluente. Las actividades de diseño fueron formuladas por GIZ en alianza con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MinAmbiente), en colaboración con otras partes interesadas tal como el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MinVivienda) y adjudicado al sector privado.

En el 2021 se desarrolló un estudio de viabilidad a través del cual se diagnosticó la gestión y estado actual de la PTAR de San Antero de Córdoba, se realizó el acercamiento con actores involucrados de la comunidad y se propuso mejoras técnicas a nivel conceptual para la optimización de la PTAR y el reúso de su efluente. En ese momento la normativa relativa al reúso de agua residual en Colombia estaba en transición, por lo que se identificó aplicaciones de reúso robustas que pudieran satisfacer las regulaciones previstas.

Posteriormente, tras evaluar la viabilidad de la implementación, se formularon las actividades del diseño detallado, las cuales incluyeron el dimensionamiento de la infraestructura, los respectivos costes, preparación de documentación requerida para la construcción y la elaboración de un manual que pretende facilitar la preparación de los potenciales operadores para la operación y mantenimiento del diseño propuesto. La discusión de los principales hallazgos y avances se llevó a cabo a través de reuniones de seguimiento periódicas con especialistas de organizaciones involucradas, entre las cuales se pueden mencionar la Alcaldía de San Antero, la operadora actual de la PTAR (Aqualia Latinoamérica), MinAmbiente, MinVivienda, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento (La CRA) y GIZ. Además, se consideró las necesidades y expectativas de parceleros locales y representantes de la comunidad a través de su involucramiento en talleres realizados en San Antero de Córdoba.

Las mejoras de la PTAR de San Antero de Córdoba se escogieron a través de un análisis de alternativas al considerar criterios constructivos y operativos, que favorecen la sostenibilidad de las medidas que puedan implementarse. Como resultado, para el **incremento del desempeño y capacidad del sistema lagunar**, se incluyó la modificación de las estructuras de entrada, salida e incorporación de mamparas (*baffles*). Adicionalmente, se propuso la remoción de lodos de las lagunas, corte de la vegetación que arriesga la estabilidad de los taludes, mejoras en el tratamiento preliminar y dispositivos de medición de caudal y retención de arenas.

Por otra parte, se propone el uso de 5 l/s del caudal tratado del sistema lagunar para la irrigación de pastos de forraje, lo

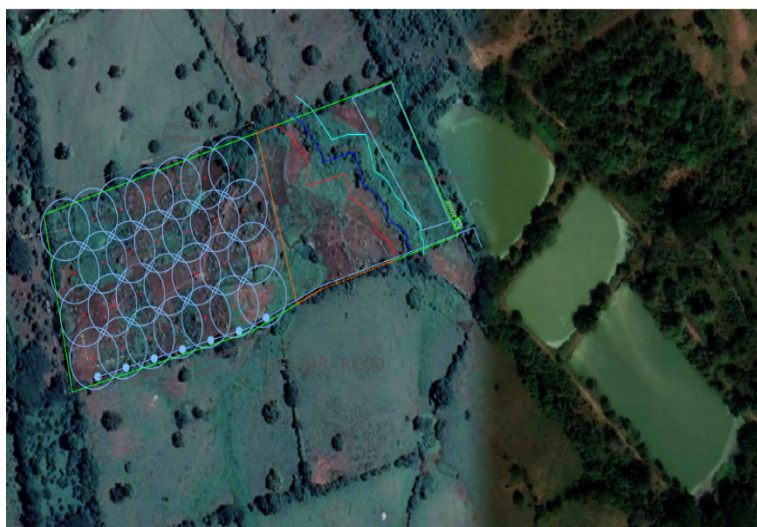


Figura 2: PTAR de San Antero de Córdoba y área destinada para reúso. Fuente: Google Earth, adaptado por GIZ/Acuameunier S.A.

cual tiene mercado en la comunidad y permitiría la generación de ingresos a pequeños agricultores. El diseño del piloto del sistema de reúso incluye un canal de derivación que transporta una fracción del efluente tratado a un tanque de almacenamiento, en el cual se impulsa el agua residual a una batería de filtración, y así es dirigido a una red de riego tecnificado, el cual permitiría cubrir un área de 3.5 ha.

## Rehabilitación de un sistema lagunar y sistema de reúso para irrigación agrícola en Sabana Yegua, Azua, República Dominicana

### El Reto

La PTAR de Sabana Yegua se ubica en la provincia de Azua, y fue abandonada hace más de 30 años. Hace unos años hubo baja disponibilidad de agua en la zona para irrigación agrícola, por lo que agricultores con cultivos cercanos interrumpieron el alcantarillado para emplear agua residual cruda en sus cultivos, lo cual representa un riesgo sanitario considerable. Lo anterior provocó que la PTAR de Sabana Yegua saliera de operación. Sin embargo, a partir del diálogo con actores involucrados, se estableció que el abandono por un tiempo prolongado se atribuye especialmente a la falta de recursos para rehabilitación del sistema y a debilidades en la gobernanza e institucionalidad en el sector de agua y saneamiento en República Dominicana. Además, cabe mencionar que el sistema no incorporaba instalaciones que permitan tratar y aprovechar los lodos del tratamiento de agua residual.



*Figura 3: Estado de la laguna facultativa en agosto de 2021. Fotografía ©GIZ/PROAMSA*

En las cercanías de la PTAR de Sabana Yegua se encuentra infraestructura perteneciente al sistema de riego YSURA, el cual cubre 30,000 ha, y administra el agua empleada para agricultura en la zona. El sistema de irrigación parcelario empleado es a través de inundación de surcos, con elevada variabilidad en el suministro de agua para riego, y falta de control o monitoreo del agua empleada para ello. Además, en la red de distribución se pueden encontrar canales en tierra, lo cual favorece pérdidas importantes del recurso.



*Figura 4: Canal de riego en tierra (izq.) y técnica de inundación de surcos (der.). Fotografías: ©GIZ / TECCA Caribe*

## La Estrategia

Se diseñaron las mejoras respectivas para la rehabilitación de la PTAR de Sabana Yegua y su sistema de reúso de agua residual. El diseño se realizó en alianza con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de República Dominicana (MIMARENA) y en colaboración con organizaciones gubernamentales tales como el Instituto Nacional de Agua y Saneamiento (INAPA), la UASD, Recinto Santiago, y la Junta de Regantes YSURA. Por otra parte, el diseño fue adjudicado a proveedores del sector privado.

En primer lugar, se diagnosticó el estado actual de la infraestructura, se realizó la identificación de riesgos y una propuesta a nivel conceptual de las mejoras requeridas para la rehabilitación a través de un estudio de viabilidad. Posteriormente, se desarrolló el diseño detallado, el cual incluyó la preparación de estudios preliminares, el dimensionamiento, especificaciones y costes de las mejoras propuestas, la impartición de una capacitación sobre el diseño propuesto y la elaboración de un Manual de Operación, con el fin de facilitar la operación y el mantenimiento del diseño.

En el diseño de la PTAR de Sabana Yegua se incluyó un pretratamiento, que consiste en rejillas manuales y un desarenador, para la remoción de sólidos de gran tamaño que de no retenerse reducirían la eficiencia del sistema lagunar. Por otra parte, debido a las características del suelo, se incluye la impermeabilización de las lagunas con geomembrana de poliestireno de alta densidad, para reducir la probabilidad de contaminación del agua subterránea y además favorecer su buen funcionamiento. Así también, se propone la instalación de una laguna de maduración de un área de 13 447 m<sup>2</sup> y una profundidad útil de 1 m para la remoción principalmente de microorganismos patógenos, lo cual permitirá además tener una calidad aceptable para el reúso del efluente en irrigación vegetal, según los parámetros de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La acumulación de lodos del sistema reduce la eficiencia del sistema lagunar, por lo que se propone extraerlos mediante dragado y deshidratarlos y estabilizarlos en 3 lechos de secado, con lo que se contaría con una capacidad total de 1000 m<sup>3</sup>. Finalmente, a través de su compostaje, se pueden obtener biosólidos que puedan ser empleados como mejoradores de suelos.

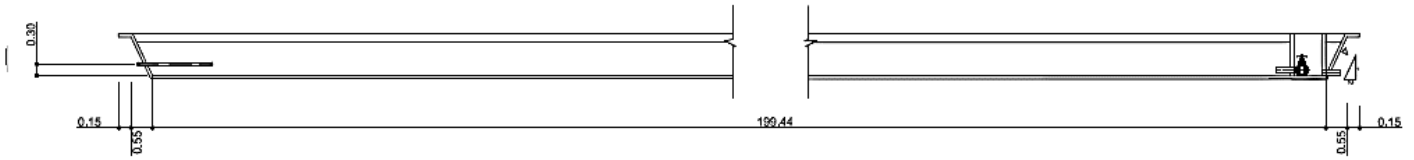


Figura 5: Sección lateral de laguna de maduración. Fuente: GIZ/TECCA Caribe (2022)

Adicionalmente, se plantea el reúso del agua residual tratada de la PTAR de Sabana Yegua para la irrigación de cultivos agrícolas en zonas cercanas. Por lo tanto, se propone inicialmente la implementación de una unidad demostrativa para riego tecnificado por aspersión subfoliar en una hectárea de cultivo de plátano (que tiene más del 70 % de cobertura en la zona) para el desarrollo de buenas prácticas entre productores y organizaciones involucradas, tal como la Junta de Regantes Ysura. Posteriormente, se recomienda escalar la tecnología a un área de 30 ha de cultivo de plátano.

El almacenamiento de agua residual tratada para riego es de 10,583 m<sup>3</sup>. La propuesta incluye la conducción de agua residual tratada a los puntos de irrigación por gravedad principalmente a través de tubería de PVC enterrada. Además, se incorporará un sistema de drenaje que acelera la evacuación de aguas de lluvia acumuladas, lo que reduce la probabilidad de pérdida de cultivos. Así también, en comparación con la técnica empleada actualmente, se prevé una reducción considerable del consumo de agua y la reducción de la probabilidad de proliferación de enfermedades fitosanitarias.

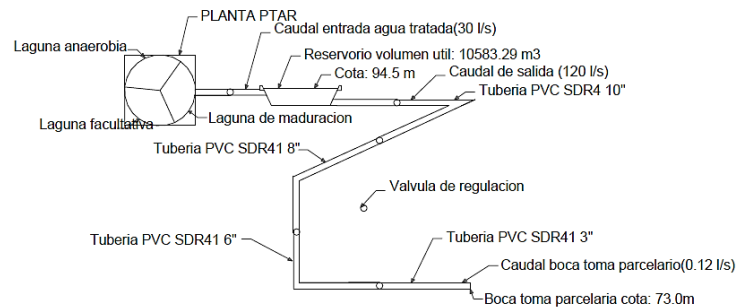


Figura 6: Diagrama simplificado de sistema piloto de reúso agrícola en Sabana Yegua. Fuente: GIZ/TECCA Caribe (2022)

## Rehabilitación de PTAR de UASD, Recinto Santiago, República Dominicana, como laboratorio de investigación académica

### El Reto

La PTAR de la UASD, Recinto Santiago, fue construida en el 2004, y, fue abandonada desde su construcción. En la actualidad, dado el inadecuado mantenimiento y operación, su infraestructura se encuentra altamente deteriorada. Así, como tampoco previene la emisión de metano a la atmósfera y, en general, no incorpora instalaciones para el tratamiento y aprovechamiento de los subproductos del tratamiento del agua residual (biogás y lodo). Además, cuenta con áreas verdes abandonadas cercanas a la PTAR y cubiertas con matorral, en donde crecen algunos árboles frutales, plátano, y otras plantas.



*Figura 7: Estado en agosto de 2021 de RAFA. Fotografía: ©GIZ/ PROAMSA*

### La Estrategia

Se diseñaron las mejoras respectivas para la rehabilitación de la PTAR de la UASD, Recinto Santiago, y sus respectivos sistemas de reúso de agua residual tratada. El diseño se realizó en alianza con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de República Dominicana (MIMARENA) y en colaboración con la UASD, Recinto Santiago, y adjudicado a proveedores del sector privado.

En primer lugar, se diagnosticó el estado actual de la infraestructura, se realizó la identificación de riesgos y una propuesta a nivel conceptual de las mejoras requeridas para la rehabilitación a través de un estudio de viabilidad. Posteriormente, se desarrolló el diseño detallado, el cual incluyó la preparación de estudios preliminares, el dimensionamiento, especificaciones y costes de las mejoras propuestas, la impartición de una capacitación sobre el diseño propuesto y la elaboración de un Manual de Operación, con el fin de facilitar la operación y el mantenimiento del diseño.

En el diseño de la UASD, Recinto Santiago, se consideró la recuperación de la infraestructura del pretratamiento, Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) y Filtro Anaerobio (FAFA). En el diseño se incorporó la infraestructura de recolección y tratamiento del biogás generado del UASB, para su aprovechamiento energético y reducción de emisiones de metano en la atmósfera. Así también, se agregó lechos de secado, para la deshidratación y estabilización del lodo, filtro de anillas y desinfección UV, con el fin de brindar la calidad requerida del efluente para el reúso. Durante el diseño se consideró la ventaja del uso de la PTAR como un laboratorio para uso de estudiantes y docentes, por lo que se consideró la instalación de unidad demostrativa de humedal de flujo subsuperficial el cual tratará una fracción del efluente del filtro anaerobio, la cual se empleará principalmente para investigación y otros fines académicos en la universidad en este tipo de SbN.

En el diseño de la PTAR del recinto universitario se pretende irrigar con agua residual tratada una zona cerca de la PTAR de aproximadamente 2 ha, la cual se adecuará con la siembra de plantas ornamentales, forestales, entre otras. De este modo, se plantea un sistema de irrigación del agua residual tratada con un almacenamiento útil de 521 m<sup>3</sup> y un sistema presurizado de microaspersión.

Al igual que el caso anterior, el diseño considera un sistema de drenaje, que reduce la acumulación excesiva de agua en el suelo, y así se minimiza el daño de las plantas.

## Un piloto de planta para la gestión de lodos fecales en Paramaribo, Surinam

### El Reto

Surinam es una de las naciones de mayor disponibilidad hídrica per cápita del mundo. Sin embargo, existe un riesgo de contaminación del recurso hídrico debido a la gestión deficiente de aguas residuales y lodos fecales en Paramaribo y sus alrededores, en donde se concentra el 80 % de la población.

Cerca del 90 % de los hogares tratan el agua residual doméstica en tanques sépticos, los cuales no suelen recibir el mantenimiento adecuado. Además, los lodos del tanque séptico son removidos de forma irregular y comúnmente son descargados sin tratar a los canales del Río de Surinam, lo que amenaza la salud pública y de los ecosistemas.

### La Estrategia

Con el propósito de proteger a los ecosistemas y salud pública por la inadecuada gestión de lodos fecales en Paramaribo, Surinam, la GIZ gestionó la preparación del diseño conceptual para la instalación de una Planta piloto de Tratamiento de Lodos Fecales (FSTP, por sus siglas en inglés) en la zona. El diseño conceptual se realizó en alianza con el Ministerio de Ambiente y Planificación Espacial y se ejecutó en cooperación con la ONG [BORDA](#) en el ámbito de un acuerdo de financiamiento. Específicamente se acordó incluir el desarrollo de un diagnóstico (que incluye revisión de aspectos de gobernanza, infraestructura de saneamiento existente y análisis de partes interesadas), estudio de mercado del servicio de gestión de lodos fecales, evaluación de terrenos, propuesta de un modelo de negocio, prediseño de la planta piloto, evaluación de impacto ambiental y social, actividades de fortalecimiento de capacidades, entre otros.

El proyecto se compuso de tres fases desarrolladas entre mayo a septiembre de 2022 en la cual se incluyó dos visitas a Paramaribo. En la fase preparatoria, se realizó un primer acercamiento con partes interesadas y se colectó información. Posteriormente, en la fase de prefactibilidad, se elaboró un borrador conceptual y se identificó con mayor detalle el rol y necesidades de actores relacionados. Finalmente, en la fase de diseño preliminar, se consolidó el diseño conceptual y se realizó un intercambio de los hallazgos con las partes interesadas, para lo cual se incluyeron medidas de fortalecimiento de capacidades relacionadas a la temática.

En particular, el piloto de la FSTP concebido tendría una capacidad de tratar efectivamente 100 m<sup>3</sup> diarios de lodo fecal, independientemente de sus características. Las tecnologías propuestas para el tratamiento se escogieron a partir de criterios como sostenibilidad, impacto ambiental, confiabilidad, costos (de inversión y de operación y mantenimiento), potencial de escalamiento y valor de subproductos.

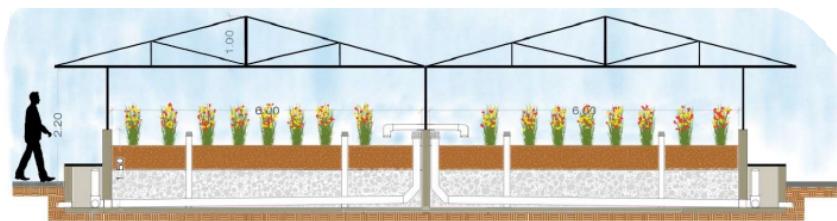


Figura 8: Lechos de secado con plantas. Fuente: BORDA Las Américas (2022)

Como resultado, el tratamiento propuesto consiste principalmente en SbN y requiere un área de aproximadamente 10,000 m<sup>2</sup>. Se propone la instalación de un tratamiento preliminar (compuesta por rejillas, desarenadores y trampas de grasa) para remover sólidos gruesos, inertes (incluidas arenas) y grasas y aceites del lodo que ingresa a la planta. Luego, se realiza una separación líquido-sólidos en espesadores de lodo. La fracción concentrada de sólidos se conduce por gravedad a **lechos de secado con plantas**, a través de los cuales se reduce la peligrosidad de los lodos, al deshidratarlos y estabilizarlos. Posteriormente, estos pueden ser co-compostados con otros residuos orgánicos de la ciudad, y emplearse como mejorador de suelo. Mientras tanto, la fracción menos concentrada de los espesadores de lodos y los lixiviados de los lechos de secado con plantas reciben un tratamiento secundario en DEWATS™<sup>1</sup> (por sus siglas en inglés, *Decentralized Wastewater Treatment Systems*). El efluente del tratamiento secundario se dirige a una **laguna de maduración** para su reúso seguro. Como resultado, los subproductos del tratamiento se podrían aprovechar y se reduce la cantidad de residuos liberados al ambiente.

---

<sup>1</sup> Para más información sobre la tecnología DEWATS™ se puede consultar la siguiente referencia: Reuter, S., Demant, D., Heredia, G., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., Ulrich, L., Zurbrügg, C. (2022). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies for the Wider Caribbean Region*. Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA). Bremen, Germany.



### Leyenda

- 1: Área administrativa
- 2: Área de descanso
- 3: Taller
- 4: Área de limpieza de camiones
- 5: Almacenamiento de arenas
- 6: Desarenadores
- 7: Almacenamiento
- 8: Sedimentadores
- 9: Agua tratada para limpieza de camiones
- 10: Lechos de secado con plantas techado
- 11: Almacenamiento de compost
- 12: Área de compostaje
- 13: DEWAT<sup>SM</sup>
- 14: Filtro de grava con plantas
- 15: Laguna de pulimiento
- 16: Tanque de agua residual tratada
- 17: Acceso

Figura 9: Vista en planta del piloto de tratamiento de lodos fecales en Surinam. Fuente: BORDA Las Américas (2022)

## Relevancia para el Desarrollo

El acelerado crecimiento demográfico, el cambio climático y degradación de los ecosistemas, entre otros factores, presionan los servicios del saneamiento en la Región del Gran Caribe. En este contexto las SbN en el tratamiento de agua residual favorecen la sostenibilidad de los servicios de saneamiento en la región, reduciendo la brecha al acceso seguro de agua y saneamiento, protegiendo el recurso hídrico y mejorando su calidad. Por lo tanto, el diseño de las SbN para el tratamiento de agua residual contribuye principalmente a alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible **(ODS) 6**. En los casos indicados anteriormente, demostraron ser tecnologías viables para el tratamiento del agua residual en áreas costeras y/o rurales, y entre sus ventajas suelen destacar los bajos costos operativos, bajo consumo energético y facilidad de construcción.

Al facilitar la implementación de servicios de saneamiento en la región se mitigan los riesgos provocados por los vertidos de agua residual sin tratar en los cuerpos hídricos. De esta forma, además se minimiza el riesgo sanitario y se mejora la salud de los ecosistemas.

Así también, la incorporación de SbN en el diseño en algunos casos permite el reúso seguro del agua residual tratada, lo cual reduce la presión sobre las fuentes de agua naturales y el aprovechamiento de subproductos del tratamiento. La Región del Gran Caribe tiene alta vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, por lo que el reúso del agua residual constituye una importante medida de adaptación al incrementar la disponibilidad hídrica **(ODS 13)**. En particular, a través del diseño de rehabilitación de la PTAR de Sabana Yegua, en República Dominicana, se contribuye a la seguridad alimentaria **(ODS 2)**, al incorporar un sistema de riego para producción

agrícola en una zona árida. Mientras tanto, al implementarse la propuesta de diseño en Colombia, se prevé la generación de nuevas fuentes de ingresos a pequeños agricultores en una zona rural con baja disponibilidad de agua para consumo, lo cual también contribuiría a la reducción de la pobreza (**ODS 1 y 8**).

La introducción de las SbN en los diseños mencionados anteriormente permitiría mitigar el deterioro de ecosistemas y pérdida de biodiversidad provocada por la construcción de la infraestructura de tratamiento de agua residual (**ODS 15**). Los sistemas lagunares y humedales son ecosistemas en los cuales coexisten especies de flora y fauna, y en los cuales se presenta una baja disrupción paisajística en comparación a otras tecnologías de tratamiento convencionales.

Por otra parte, las capacitaciones realizadas permitieron sensibilizar a las personas con un rol relevante en la implementación y posterior funcionamiento de la infraestructura diseñada. Además, se dio la transferencia de conocimiento sobre las soluciones tecnológicas robustas y costo-efectivas para el tratamiento de agua residual, las cuales usualmente presentan mayor sostenibilidad en la Región del Gran Caribe. En particular, se fortalecieron las capacidades para que estas puedan ser operadas y mantenidas eficientemente una vez se haya implementado el diseño.

La integración del reúso de agua residual en los diseños propuestos para las actividades en Colombia y República Dominicana permitirán apoyar sus iniciativas innovadoras en gobernanza del reúso seguro del agua residual al ser un modelo práctico a nivel país de sus principios y buenas prácticas. En el caso de la PTAR de Sabana Yegua, al integrar el enfoque nexo agua-energía-alimentación se inició nuevas conversaciones entre organizaciones gubernamentales que usualmente trabajan de forma separada, tal como INAPA y la Junta de Regantes YSURA, para el desarrollo de un proyecto con un enfoque de gestión integrada del agua. De esta forma, la



Figura 10: ODS beneficiados por el diseño de SbN en la Región del Gran Caribe a través del proyecto GEF CReW+. Fuente: United Nations (2023)

inclusión de SbN en el diseño abre paso a la provisión de servicios de saneamiento más sostenibles en la Región del Gran Caribe, que pueden ser replicados y escalados.

## Lecciones Aprendidas

### ¿Qué evitar?

- En cada uno de los casos mencionados en este documento **no había claridad de la titularidad de algunos terrenos** que se podrían intervenir **durante la etapa de diseño o pre-dimensionamiento**. Esto produce atrasos y costos adicionales, al plantear posibles soluciones alternativas en caso de que el terreno no se pueda adquirir en el plazo del proyecto. Además, es un aspecto al que se

le debe prestar atención en el diseño de las SbN, al requerir usualmente una alta disponibilidad de terreno. Por lo tanto, es recomendable incluir la verificación de la titularidad de los terrenos antes de iniciar el diseño de la infraestructura.

- **El excluir en los estudios de viabilidad un plan de acción para ejecutar medidas de mitigación de riesgos del proyecto** produce atrasos y reduce su probabilidad de éxito. A manera de ejemplo, la falta de un plan de acción ante el riesgo de falta de presupuesto para construcción durante las etapas previas puede generar atrasos en la implementación, al requerir más tiempo para la búsqueda de financiamiento adicional requerido. Por lo tanto, se recomienda incluir medidas de mitigación del riesgo detalladas y el respectivo plan de acción desde las primeras etapas del proyecto.
- Es importante **evitar el desarrollo de un servicio de saneamiento específico sin evaluar alternativas que surgen de un diagnóstico completo**. En el desarrollo de una solución tecnológica de saneamiento para una comunidad se recomienda incluir una evaluación del entorno y posteriormente evaluar alternativas factibles según los hallazgos del diagnóstico realizado. De esta forma se invierten los recursos en soluciones que puedan tener mayor sostenibilidad según el contexto del área de intervención.

## ¿Qué promover?

- **El involucramiento de representantes de agricultores a través de talleres o capacitaciones** agiliza su participación y el diseño de la propuesta de reúso, al identificar con profundidad el contexto en cual desarrollan sus actividades, sus necesidades y percepciones. Así, favorece la sostenibilidad del servicio de reúso ofrecido por las SbN implementadas. Adicionalmente, se fortalecen sus capacidades para el reúso seguro y eficiente del agua tratada.



*“Para nosotros fue muy valiosa la capacitación, entendemos que se enmarca en la importancia que tiene el asunto de no solamente venir y decir “Vamos a hacer esta obra” sino te capacitan para que tú sepas como manejarlas. Nosotros pudimos ver, en esta capacitación, países que tienen este tipo de sistemas funcionando, vimos cómo funcionan. La idea de la GIZ es que cuando nosotros tengamos esta obra funcionando [la PTAR de Sabana Yegua] podamos tener la capacidad de ponerla a operar. Nos sentimos bien agradecidos con la capacitación y esperamos que se repita”*

*Félix Mora, Municipio de Sabana Yegua, República Dominicana. Fotografía ©Katia Gutiérrez*

- **El diálogo con actores clave de las comunidades** de intervención favorece el desarrollo de un diseño realista, que satisfaga las necesidades de la comunidad. La comunidad suele verse más afectada durante el funcionamiento de las obras propuestas, y tiene un papel relevante en su sostenibilidad.

- A las empresas privadas de diseño de aguas residuales les permite replicar la experiencia de diseño de sistemas de saneamiento integrales en sus consultorías, donde se aprovechen sus subproductos, y con una visión de economía circular. De este modo se favorece el **fortalecimiento de las capacidades de empresas privadas** en esta temática, lo que propicia la expansión de la visión indicada antes.
- La **ejecución de reuniones de seguimiento** con especialistas de las organizaciones involucradas favorece el diseño de soluciones que sean factibles y robustas, al analizar las alternativas según distintas perspectivas y experiencias.
- El **desarrollo de entrenamientos o actividades de fortalecimiento de capacidades** a personas seleccionadas durante el diseño impulsa la participación de actores clave en el proyecto y facilita la apropiación de las soluciones propuestas.
- La **preferencia de soluciones tecnológicas costo-razonables, sencillas y de bajo consumo energético** para el tratamiento de agua residual suelen satisfacer necesidades de los usuarios y responsables de su implementación en la Región de Gran Caribe. Generalmente, es necesario que los costos de operación y mantenimiento de la colección y tratamiento del agua residual sea bajo, con el fin de que sea sostenible en la región.



**Figura 11.** Capacitación en Gestión de Lodos Fecales a personas seleccionadas del sector gubernamental en Surinam.  
Fotografía: ©BORDA Las Américas

## Sostenibilidad y Replicabilidad

Las SbN mencionadas anteriormente pueden ser replicables y escalables en otras localidades de la Región del Gran Caribe, así como en zonas peri-urbanas y rurales en el trópico. La principal limitante de la replicabilidad de los sistemas lagunares y humedales es la disponibilidad de terreno. Generalmente, estos ocupan mayor área en comparación a otras tecnologías de tratamiento de agua residual convencional. Por lo tanto, estos suelen ser más empleados en zonas rurales, donde la disponibilidad de terreno es más alta en comparación a las zonas urbanas. Así también, se prefiere su aplicación en el trópico, al contar con climas más cálidos que mejoran su desempeño. Las tecnologías de tratamiento propuestas en los diseños son sencillas, presentan bajo consumo energético y son de bajo costo (operativo y de inversión) lo que aumenta la sostenibilidad para su aplicación en la región. Por lo que al escalar es importante garantizar que se mantengan dichas características.

Por otra parte, el proyecto en San Antero de Córdoba, Colombia y el de Sabana Yegua, en la provincia de Azua, República Dominicana son modelos del reúso seguro de agua residual para aumentar la productividad agrícola. Al tratarse de sistemas sencillos y costo-razonables, estos podrían replicarse en otras localidades rurales de la región para favorecer la seguridad alimentaria y en las cuales exista una buena gobernanza para el reúso del agua residual, reduciendo la presión sobre las fuentes de agua superficial o subterránea y mejorando la sostenibilidad del proyecto.

---

*“Ese proyecto (rehabilitación de la PTAR de Sabana Yegua) va a ser muy importante, porque a través de él se va a replicar. Servirá como ejemplo para que puedan implementarlo en las demás provincias, por a veces tenemos épocas de estiaje, con poca agua en los primeros días del año, entonces eso ayudaría” (María de León Pepen, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales)*

---

Sin embargo, es necesaria la creación de acuerdos entre organizaciones para la adecuada gestión de los sistemas de reúso de aguas residuales tratadas para irrigación agrícola. Su operación y mantenimiento traslapa las responsabilidades de organizaciones, que hasta este momento no han estado directamente vinculadas. Por ejemplo, en el proyecto de reúso de agua residual en Sabana Yegua, se visualiza la necesidad de acordar formalmente roles y responsabilidades entre la autoridad nacional de agua (INAPA) y una Junta de Regantes (Junta de regantes YSURA), quienes administran el agua para actividades agrícolas en la zona.

Mientras tanto, el proyecto en la UASD del Recinto Santiago podría replicarse en otros centros universitarios, para la formación práctica de capacidades a futuros profesionales en la región en torno a sistemas de tratamiento de agua residual integrales, con uso de SbN y con enfoque de circularidad, donde se aprovechen adecuadamente los subproductos del tratamiento. Por otro lado, al considerar el desarrollo turístico en Cayo Corker, Belice, el correspondiente diseño propuesto puede ser adaptado a otras zonas costeras y turísticas en la región, con alto nivel freático y topografía plana. Mientras que la replicabilidad y sostenibilidad de la implementación del diseño propuesto en Surinam está fuertemente ligado a la presencia de un entorno favorable en aspectos como gobernanza para la gestión adecuada de lodos fecales, lo cual es incipiente en la Región del Gran Caribe. Por lo tanto, es importante concentrar esfuerzos para la creación de las condiciones favorables en torno a gobernanza, financiamiento y capacidades en la gestión de lodos fecales en la región, con el fin de aplicar tecnologías que puedan ser sostenibles a largo plazo, y que protejan la salud pública y el recurso hídrico.

## Referencias

- BORDA Las Americas. (2022). Detailed Design Concept for a Faecal Sludge Treatment Plant in Paramaribo, Suriname.
- Cross, K.; Tondera, K.; Rizzo, A.; Andrews, L.; Pucher, B.; Istenič, D.; Karres, N. y McDonald, R (Eds.). (2021). *Nature-based Solutions for Wastewater Treatment: A Series of Factsheets and Case Studies*. IWA Publishing.
- De la Peña, M.; Larrea, C.; Sasaki, K. y Smith, D. (2022). *El reúso de agua residual tratada en América Latina y el Caribe: 10 estudios de caso*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- GIZ. (2021a). Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y Diseño de Sistema de Reúso de Efluentes Tratados, San Antero.
- GIZ. (2021b). Viabilidad técnica de proyecto de saneamiento del Municipio de Sabana Yegua.
- GIZ. (2021c). Viabilidad Técnica del Proyecto de Saneamiento de la Universidad Autónoma de Santo Domingo - Recinto Santiago: Reporte Final.
- GIZ. (2022a). Caye Caulker Sanitation System: Feasibility Study for Collection and Treatment Alternatives.
- GIZ. (2022b). Diseño para la rehabilitación de la PTAR de la Universidad Autónoma Santo Domingo-Recinto Santiago.
- GIZ. (2022c). Diseño para la rehabilitación de la PTAR del Municipio de Sabana Yegua.
- GIZ. (2022d). Elaborar el diseño de detalle para la optimización del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR) que de total cumplimiento a la resolución 1256 de 2021 de reúso de aguas, elaborar la documentación requerida para solicitar el permiso de reúso (concesión de aguas) y elaborar los estudios, ensayos, diseño y especificaciones técnicas para la red de riego que permita el reúso de las aguas tratadas por la PTAR optimizada en el Municipio de San Antero, Departamento de Córdoba, Colombia.
- Pan America Health Organization. (2020). 2030 Agenda for Drinking Water, Sanitation and Hygiene in Latin America and the Caribbean: A look from the human rights perspective. [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52586/9789275121112\\_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/52586/9789275121112_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Reuter, S., Demant, D., Heredia, G., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., Ulrich, L., Zurbrügg, C. (2022). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies for the Wider Caribbean Region*. Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA). Bremen, Germany.
- United Nations Programme. (2022). *Nature-based Solutions: Opportunities and Challenges for Scaling Up*. Nairobi.

---

Publicado por:	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Autor:	Antony Torres Solano
Diseño:	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Fecha:	Enero de 2023
<b>Por encargo de:</b>	Banco Interamericano de Desarrollo (BID) con financiamiento del Fondo Mundial para el Medio Ambiente GEF

---